

---

**Методи та системи оптично-електронної та цифрової обробки сигналів**

---

УДК 535.5:621.38.

**ЦИФРОВИЙ ПАНОРАМНИЙ ПОЛЯРИМЕТР  
ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ І ФІЗИЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ НЕБЕСНИХ ОБ'ЄКТІВ**

*Від'маченко А.П., Делець О.С., Неводовський П.В., Андрук В.М., Головна астрономічна  
обсерваторія НАН України, м. Київ, Україна*

*Цифровий панорамний поляриметр – це комплекс астрономічної телевізійної установки на базі панорамного високочутливого приймача "суперізокон" типу ЛІІ-804 і оптико-механічного блоку до складу якого входить поляроїдний модулятор з обертовою ахроматичною фазовою пластинкою великого розміру.*

**Вступ**

Поляризаційний метод вивчення небесних об'єктів є дуже ефективним засобом для визначення їхніх оптичних і фізичних параметрів. Суттю його є дослідження результатів вимірювання стану поляризації світла, отриманого від випромінюючого об'єкта. Основною перешкодою для розвитку поляриметрії раніше була складність і громіздкість математичної обробки результатів вимірів. Тільки для найпростіших систем удавалося досягти такого спрощення загальних теоретичних співвідношень, яке дозволяло робити пряме визначення поляризаційних характеристик відбитого пучка світла. Виявити таке пряме визначення у більш складних і цікавих випадках було неможливо. В таких випадках необхідно було проводити попередній, як правило, дуже складний і громіздкий розрахунок амплітудних коефіцієнтів відбитого світла, поляризованого в площині падіння, і світла, поляризованого перпендикулярно до цієї площини, для моделі системи, адекватної досліджуваному об'єкту. Тільки порівняння експериментальних результатів із даними такого розрахунку дозволяло визначити деякі характеристики об'єкта. Така складність процедури вимірів стримувала розширення застосування поляриметрії й удосконалення необхідної для цього апаратури.

З іншого боку, поляриметричний метод дослідження має ряд дуже важливих особливостей, які роблять його дуже привабливим. По-перше, це неруйнуючий характер середовища метод вимірювань, який дає можливість проведення дослідження не тільки диференційно в даному місці, але й інтегрально по всьому об'ємі. По-друге, при використанні сучасних технічних засобів поляриметрія дозволяє розробити цілий ряд надзвичайно чутливих методів дослідження стану як поверхні, структури тонких плівок і явищ на розділі двох фаз, так і структури газових середовищ великого об'єму аж до атмосфер планет. Нарешті, поляриметричні виміри можуть проводитися в широкому інтервалі температур і тисків.

В астрономії при проведенні поляризаційних досліджень різноманітних протяжних об'єктів, оптичне випромінювання від яких має просторово-часову

нестабільність, широко використовуються вимірювальні пристрої, названі відеополяриметрами чи панорамними поляриметрами [1]. Ці прилади мають високу швидкість вимірювань, що дозволяє обробляти одержувану інформацію в реальному масштабі часу і представляти її у вигляді поляриметричних зображень на екрані відеомонітора, проте точність вимірювання ступеня поляризації у них була не краща 1 %.

Ця стаття має мету описати виготовлений в Головній астрономічній обсерваторії НАН України панорамний поляриметр для дистанційного дослідження оптичних і фізичних параметрів небесних об'єктів. Цей прилад дозволяє проводити вимірювання ступеня поляризації з точністю кращою за 0,3%.

### **Устрій цифрового панорамного поляриметру**

У Головній астрономічній обсерваторії НАН України був створений експериментальний зразок астрономічного комплексу приладів за назвою «Цифровий панорамний поляриметр» (ЦПП). Комплекс ЦПП дозволяє визначити повний вектор Стокса поляризованого оптичного випромінювання, відбитого від досліджуваних об'єктів, зображення яких знаходиться у фокальній площині телескопа. Прилад призначений для реєстрації й обробки зображень фокальних об'єктів в режимах фотометрії і поляриметрії.

#### **Основні технічні характеристики комплексу**

Спектральний діапазон, нм	350 ... 750;
Повне поле, кут. хв	7.5 x 7.5;
Роздільна здатність, кут. сек	0.45"x0.45";
Розмір кадру чи поля у фокальній площині, мм	22 x 22;
Кількість ліній у кадрі, шт.	4096;
Кількість елементів у лінії, шт.	1024;
Точність виміру лінійної поляризації, %	до 0.3;
Динамічний діапазон, у зоряних величинах	до 17;
Габарити навісної частини, мм	1000.x.400.x.400.;
Маса, кг	75.

ЦПП являє собою комплекс оригінальної астрономічної телевізійної системи на базі панорамного високочутливого приймача "суперізокон" типу ЛІ-804 і оптико-механічного блоку. Накопичення та обробка одержаної інформації проводиться на персональному комп'ютері, що має спеціальне програмне забезпечення (Рис. 1).

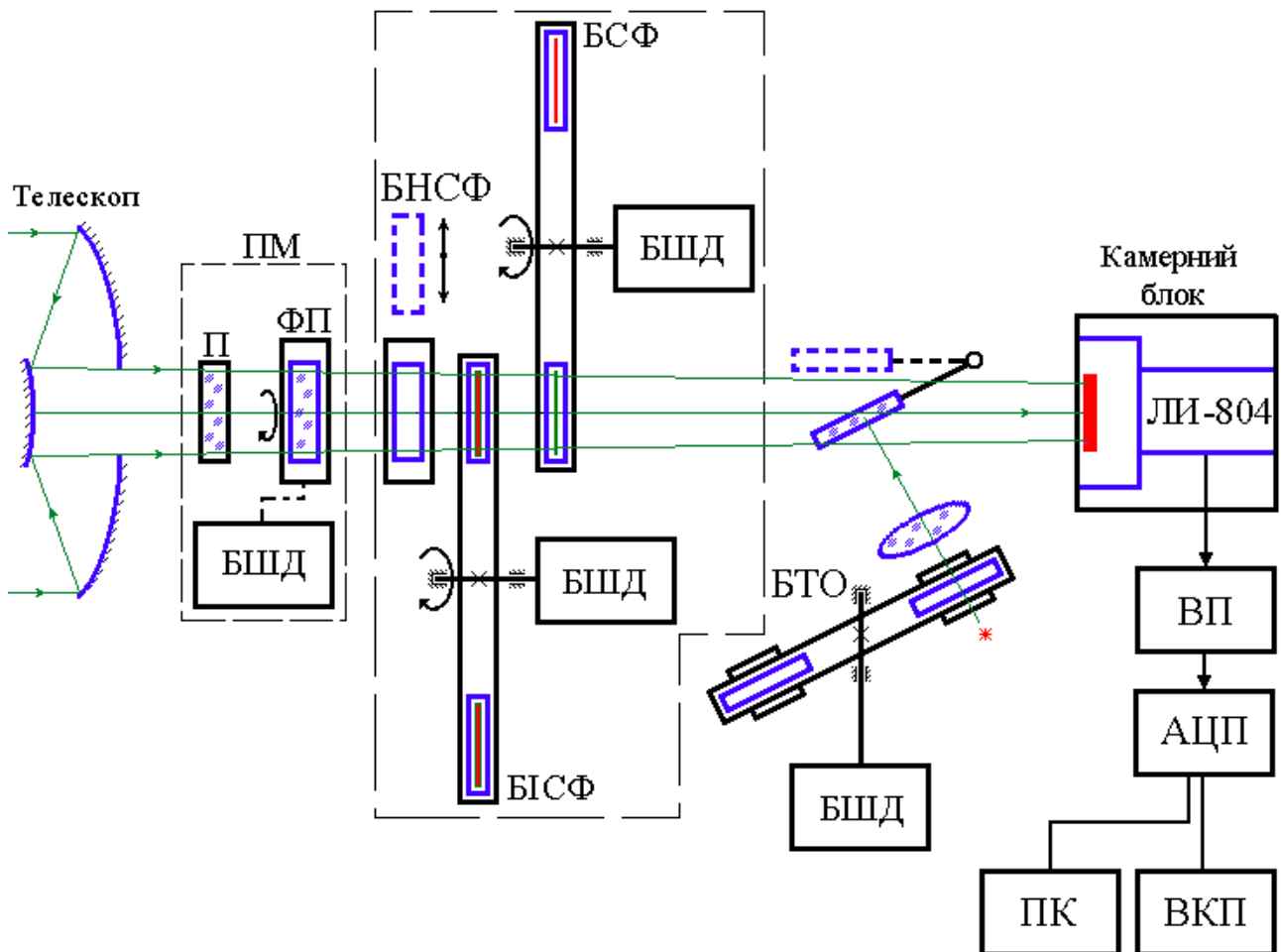
Зважаючи на вище сказані обставини, комплекс умовно можна розділити на три частини:

1. Оптико-механічний блок (ОМБ) призначений для збору світлового потоку, його селекції по діапазонах довжин хвиль і побудови зображення досліджуваного об'єкта на фотокатоді.

2. Астрономічна телевізійна установка, яка перетворює це зображення в

електронний профіль, підсилює й виводить його на монітор.

3. Програмно-апаратний комплекс на основі персонального комп'ютера з адаптером введення зображень і пакетом прикладних програм, який дозволяє перетворити електронний сигнал у поляризаційне зображення, що виводиться на монітор.



ПМ — поляроїдний модулятор; П — поляроїд; ФП — фазова пластина; БШД — блок шагового двигуна; БНСФ — блок нейтральних фільтрів; БСФ — блок фільтрів; БІСФ — блок інтерференційних фільтрів; БТО — блок тестового об'єкта; ВП — відеопідсилювач; АЦП — аналого-цифровий перетворювач; ВКП — відеоконтрольний пристрій; ПК — персональний комп'ютер.

Рисунок 1 – Принципова схема побудови ЦПП

Конструктивно увесь комплекс ЦПП поділяється на дві частин: навісний блок, що монтується у фокусі телескопа, і стійка - пульт керування. Обидві частини з'єднані між собою кабелем довжиною 25 м.

Навісний блок являє собою єдину конструкцію, що складається з оптико-механічного модуля й модуля телевізійної трубки ЛІ-804.

Оптико-механічний модуль містить: блок стандартних світлових фільтрів; блок інтерференційних світлових фільтрів; блок нейтральних світлових

фільтрів; блок тест-об'єктів; блок поляроїдного модулятора і блок офсетного гіда.

Розглянемо устрій і роботу кожного з них.

1. Блок стандартних світлових фільтрів призначений для виділення необхідного спектрального діапазону при фотометричних і фотополяриметричних дослідженнях. Конструктивно він являє собою турель із шістьма гніздами під світлові фільтри стандартної системи U, B, V, I, R. Один отвір залишається порожнім. Турель приводиться в обертання за допомогою крокового двигуна ДШИ -200, сигнали на який подаються від спеціально розробленої схеми керування.

2. Блок інтерференційних світлових фільтрів дає можливість звузити робочий спектральний діапазон до 5 – 20 нм. Він складається з набору змінних інтерференційних світлових фільтрів, які мають смуги пропускання світла від 5 до 20 нм. Конструкція аналогічна блоку стандартних світлофільтрів.

3. Блок нейтральних світлових фільтрів дозволяє ослаблювати загальний рівень сигналів світла. Конструктивно він являє собою засувку, в який вручну можна замінювати світлові фільтри.

4. Блок тест –об'єктів використовується для юстування телевізійної установки, як у процесі налагодження, так і в процесі експлуатації, а вимірювання плоского поля входить до методики дослідження слабких астрономічних об'єктів. Конструктивно цей блок являє собою окремий оптико-механічний вузол, що складається з обертової турелі з набором гнізд під відповідні тестові об'єкти, джерела світла і призми, що дозволяє направити світло, яке ми тестуємо на приймач.

5. Блок поляроїдного модулятора представляє обертову ахроматичну фазову пластинку великого розміру і нерухомий поляроїд. Обертання на пластинку передається керованим кроковим двигуном.

Модуль навісної частини високочутливої астрономічної телевізійної установки на базі телевізійної трубки типу “суперізокон” ЛІ-804, як і всі телевізійні системи такого типу, складається з самої передавальної телевізійної трубки ЛІ-804 і електронних блоків, що забезпечують режими роботи останньої, відеопідсилювача та аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Тут також знаходиться модуль керування ОМБ, до складу якого входять електронні вузли автоматики ОМБ.

Передавальна телевізійна трубка ЛІ-804 об'єднує в одній загальній оболонці два прилади: ізокон та однокамерний електронно-оптичний перетворювач. Таке вдале сполучення двох вакуумних приладів в одному дозволило одержати для телевізійних трубок цього класу найбільшу чутливість і роздільну здатність [2].

У стійці керування ЦПП змонтована апаратна частина поляриметра, що здійснює керування і контроль усією системою в режимах спостереження, регулювання й настроювання, а саме:

- Відеоконтрольний пристрій (ВКП), на моніторі якого формується зображення, одержане камерним блоком з фокальної площини телескопа.
- Блок керування режимами зчитування, з якого задаються параметри розкладання телевізійного зображення: це кількість рядків у растрі і кількість елементів у рядку, а також може задаватися розмір ділянки, що зчитується, у межах діючого поля приймача випромінювання за допомогою електронного маркера, якій світиться на екрані.
- Блок керування ОМБ, з якого задається обраний режим роботи ОМБ: встановлюються відповідні світлові фільтри, включаються і задаються режими роботи блоку полярійного модулятора, режим тестового контролю, при якому на фотокатод приймача випромінювання проектується необхідні тестові зображення з можливістю керування їхньої яскравості. Тут також розташовані органи керування системою контролю відеотракту приладу й інші контрольні й технологічні органи керування.
- Блок керування режимами роботи ізокона, де проводиться вмикання - вимикання, настроювання й регулювання телевізійної трубки ЛІ 804.
- Блок керування режимами поляриметра, яке проводиться відповідно з до вибраної астрономічної задачі.

Програмно-апаратний комплекс ЦПП являє собою персональний комп'ютер, адаптер введення зображень і програмне забезпечення, виконане на базі програми обробки зображень у середовищі MS DOS "IMAGIX", яке було дороблене під алгоритми астрономічних задач у складі комплексу ЦПП. Сюди відеосигнал у цифровому вигляді подається для обробки і наступного збереження. Після проведення відповідних випробувань і спостережень була проведена доробка цього програмного забезпечення з метою одержати більш гнучку можливість керування алгоритмом щодо експозиції. В даний час комплекс програмного забезпечення дозволяє вводити та виводити на монітор, зберігати й обробляти зображення, одержані апаратурою ЦПП у різних режимах роботи. Конфігурація ПЕВМ складається з платформи на процесорі з параметрами, не гіршими ніж 80486DX33, RAM 20MB, HDD 4,3 GB і 8bit плата захвату кадру.

### **Обробка телевізійних кадрів панорамних зображень**

Програмне забезпечення для реєстрації зображень зоряних полів у вигляді телевізійного кадру ЦПП створено таким чином, що вихідні дані записані у форматі .IMX. Для роботи в програмному пакеті MIDAS/ROMAFOT дані повинні бути зареєстровані у форматі .FITS. Для перезапису інформації з формату .IMX у формат .FITS були використані програми, розроблені групою співробітників з експлуатації АЦМФ-ХУ відділу АКЮЦ ГАО НАН України. Але, як доводить досвід авторів [3], без спеціальної попередньої обробки кадрів зображень проблематично отримати фотометричні і позиційні характеристики "зореподібних" об'єктів в усьому динамічному інтервалі інструментальних величин. Тому до всіх кадрів зображень, представлених у цифровому вигляді,

було послідовно використано процедуру штучного пониження рівня фону та розтягування динамічного діапазону реєстрації інтенсивності в кадрі зображення. Цей спосіб (штучного пониження рівня фону та розтягування динамічного діапазону інтенсивності електронного тракту ЦПП) дозволяє впевнено виділяти всі об'єкти, зареєстровані на астрономічному зображенні. Крім того, досить ефективною є дія цього способу на шуми - при різкому "просіданні" значень рівня фону по відношенню до реальних об'єктів, зареєстрованих на кадрі. Зараз відхилення відносно середнього значення фону становлять декілька процентів. Далі виконувались подальші операції згладжування та фільтрації, за допомогою програмного пакета MIDAS. Подальша обробка зображень пов'язана з використанням фотометричного програмного пакета ROMAFOT, який дозволяє отримати інструментальні величини та прямокутні координати об'єктів з астрономічних зображень, отриманих у цифровому вигляді. Робота з фотометричним програмним пакетом ROMAFOT велася в автоматичному режимі. Принцип роботи і застосування команд пакету ROMAFOT описане в частині "Crowded Field Photometry" програмного пакета MIDAS.

Створено комплекс програм в операційних системах UNIX/MIDAS/ROMAFOT і WINDOWS/IDL для обробки телевізійних кадрів зображень зоряних полів і для одержання позиційних і фотометричних характеристик зареєстрованих за допомогою ЦПП об'єктів; забезпечена прив'язка до точного часу одержуваних даних. Це дозволить одержувати поляризаційну інформацію в спектральному діапазоні 340 ... 1000 нм.

### **Висновки**

У Головній астрономічній обсерваторії НАН України створено експериментальний зразок астрономічного комплексу приладів за назвою «Цифровий панорамний поляриметр» (ЦПП).

Комплекс дозволяє за допомогою перетворювача і лінійного аналізатора поляризації, встановлених перед панорамним фотоприймачем, отримати візуальне поляризаційне зображення, тобто розподіл усіх чотирьох параметрів Стокса  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ , у межах сформованого зображення досліджуваного об'єкта і знайти інтервали їхніх змін з часом.

Створено комплекс програм в операційних системах UNIX/MIDAS/ROMAFOT і WINDOWS/IDL для обробки телевізійних кадрів зображень зоряних полів та для одержання позиційних і фотометричних характеристик зареєстрованих за допомогою ЦПП об'єктів, який дозволяє автоматично враховувати нерівномірність чутливості наявність "гарячих" пікселів; забезпечена прив'язка до точного часу одержуваних даних.

Підсилення комплексу завдяки використанню як приймача світла охолоджуваної ПЗЗ-матриці дасть змогу спростити прилад, поліпшити його характеристики і отримувати поляризаційну інформацію панорамних зображень у спектральному діапазоні 340 ... 1000 нм.

Робота виконувалась при частковій фінансовій підтримці українського науково-технологічного центру (STCU Grant NN43).

#### Література

1. Шутов А. М. Видеополяриметры // Оптический журнал. – 1993. – № 5. – С. 3–10.
2. Телевизионная астрономия Абраменко А.Н., Агапов Е.С., Анисимов В. Ф. и др. Под ред. Никонова В. Б. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1983. – 272с.
3. Андрук В. М., Парусімов В. Г., Дудник Т. Б. Досвід цифрової обробки зображень зоряних полів у програмному пакеті MIDAS/ROMAFOT. // Кінематика і фізика небес. тел. – 1999. – 15, № 6. – С. 489–500.

Видьмаченко А.П., Делец А.С., Неводовский П.В., Андрук В.М. <b>Цифровой панорамный поляриметр для дис-танционного исследования оптических и физических параметров небесных тел.</b> Цифровой панорамный поляриметр представляет собой комплекс астрономической телевизионной установки на базе панорамного высокочувствительного приемника «суперикозон» типа ЛИ-804 и оптико-механического блока, в состав которого входит поляроидный модулятор с вращающейся ахроматической фазовой пластинкой большого размера.	Vid'machenko A.P., Delec A.S., Nevodovskiy P.V., Andruk V.M. <b>Digital panoramic polarimeter for remote investigatirn of an optical parameter of celestial bodies.</b> Digital panoramic polarimeter is an astronomical television device with panoramic high – sensitivity receiver “superisokone”, LI-804 and mechanical block which consist of the polaroid modulator and large rotating achromatic phase – shift plate.
--	---

*Надійшла до редакції  
23 квітня 2003 року*

УДК 621.383

## СУЧАСНІ ПРИЙМАЧІ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

*Дандур'янець О.І., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

*В статті розроблено найбільш повну класифікацію приймачів інфрачервоного випромінювання та проведений їх порівнювальний аналіз, визначені найбільш перспективні напрямки досліджень*

### Вступ

Однією з актуальних проблем сучасної електроніки є розширення елементної бази в галузі приймачів інфрачервоного випромінювання, які мають властивість реєструвати просторове розподілення температури тепловипромінювальних об'єктів. В даний час актуальними є сенсорні прилади для моніторингу навколишнього простору, наприклад для теплового контролю об'єктів енергетики та енергетичного обладнання, зменшення їх аварійності і, внаслідок, зменшення забруднення навколишнього природного середовища.